

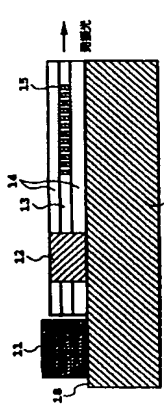
(51) Int. Cl. <sup>8</sup>	識別記号	請求項の数	OL	要 求 項
H01S 3/133	H01S 3/133			
F I				
H01S 3/133				
(21) 出願番号	特願平9-255122	(71) 出願人	000004226	(全12頁)
(22) 出願日	平成9年(1997)9月19日	日本電信電話株式会社		
		東京都新宿区西新宿三丁目19番2号		
		田中 拓也		
		東京都市新宿区西新宿三丁目19番2号 日本		
		電信電話株式会社内		
		高橋 浩		
		東京都市新宿区西新宿三丁目19番2号 日本		
		電信電話株式会社内		
		金子 正明		
		東京都市新宿区西新宿三丁目19番2号 日本		
		電信電話株式会社内		
		(74) 代理人	井土士 谷 蔵一 (外1名)	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 周波数安定化レーザ

(57) 【要約】

【問題】 温度変化に起因するモードホップを抑制してレーザの発振周波数を安定化する。

【解決手段】 同一の基板上に搭載された半導体レーザダイオードと光導波路とを有し、光導波路に光誘起グレーティングが形成されている集積型外部共振器を用いた周波数安定化レーザである。半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料が、半導体レーザダイオードとコアを除去した部分に、光導波路の上部クラッドとコアを除去した部分には上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に搭載されている。



(2) 特開平 11-97784

周波数安定性を利用して単一モード発振をする、周波数安定化レーザに比較して小さい、発振周波数の周波数が容易である等の特徴を有するため、光通信、光情報処理、光計測、分光光源として様々な応用が期待されている(T. Tanaka, et al., Electron. Lett., vol. 32, n. 6, 13, 1202, (1996)および田中他1997年電子情報通信学会総合大会講演論文集, C-3-160)。なお、光誘起グレーティングの作製技術については、ケニス・オー・ヒル等により発明されている(特開平7-140311号公報)。以後、光誘起グレーティングを名称の周波数安定化レーザと言い換える。

【0003】 図13は従来の技術を用いて作製した周波数安定化レーザの模式的な側面図である。11は半導体レーザダイオードであり、13は石英基板上の石英層であり、14は石英層のクラッドである。15はグレーティングであり、16はSi基板であり、18は半導体LDを構成する部分であり、18は石英ガラスを取り除いた部分でシリコンテラスと呼ばれている。

【0004】 石英系導波路中のグレーティングと半導体LDで構成される周波数安定化レーザの発振モードを以下に説明する。半導体LDに注入電流を流し発光させる、グレーティングの反射スペクトルに対応した周波数の光のみがグレーティングで反射される。従って、半導体LDの後端面からグレーティングまでの区間をレーザキャビティとして発振する。なお、グレーティングおよび半導体LDの後端面以外からの半導体LDへの反射光が無く、半導体LDの出方面に空気層と境界面に対する反射防止膜が施され、石英導波路のLD側の端面はコアの近傍部がコアの光軸に直交する方向に対して傾いている(特開平5-15523号公報参照)。一般にグレーティングの反射周波数の帯域は50GHz程度である。一方、レーザキャビティ長が0.5cm程度であるので、レーザモードの周波数間隔は20GHz程度となり、レーザモードが3本程度存在し得る。従って、この中でグレーティングの反射中心周波数に最も近いものだけが選択される。なお、一般にグレーティングの反射率は40〜99%、半導体LDと石英導波路との光結合損失は4dB±1.5dB程度になっている。

【0005】

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来の周波数安定化レーザでは、選択されるレーザモードの周波数が温度に依存するので、温度変化と共に発振するモードが変化する現象を生じる(以後モードホップと呼ぶ)。以下にその理由を説明する。従来の周波数安定化レーザのレーザモードの周波数係数は、近似的に式(1)に示される。

【数1】

$$m = \frac{m_{\text{so}} n_{\text{so}} L_{\text{so}} L_{\text{so}} + m_{\text{wo}} n_{\text{wo}} L_{\text{wo}}}{n_{\text{so}} L_{\text{so}} + n_{\text{wo}} L_{\text{wo}}} \quad (1)$$

4

(1)

【0007】ただし、 $m_{\text{so}}$ および $m_{\text{wo}}$ は、それぞれ半導体LDの共振器の共振周波数の温度係数および石英導波路で作製した共振器の共振周波数の温度係数である。 $n_{\text{so}}$ および $n_{\text{wo}}$ は、それぞれ半導体LDの導波路の等価屈折率および石英導波路の等価屈折率である。 $L_{\text{so}}$ および $L_{\text{wo}}$ は、それぞれ半導体LDの共振器および石英導波路の長さである。グレーチングは、石英導波路中に設けられており、反射中心周波数の温度係数は、石英導波路の温度係数 $m_{\text{wo}}$ に等しい。 $m_{\text{so}}$ は10 $m_{\text{wo}}$ なので、縦モードの温度係数 $m$ の大きさは、グレーチングの反射中心周波数の温度係数 $m_{\text{wo}}$ の大きさよりも大きい。

【0008】すなわち、縦モードの温度係数とグレーチングの反射中心周波数の温度係数は等しくない。

【0009】図14にモードホッピングの説明を示す。N番目の縦モードで共振していたとすると、温度変化によりグレーチングの反射中心周波数に最も近い縦モードがN+1番目に移り、モードホッピングが生じる。文献：T anaka, et. al., Electron. Lett., vol.32, no.13, 12

02, (1996) の例では温度変化により5度おきにモードホッピングが生じていた。モードホッピングは伝送信号の誤り確率を上昇させるため、抑制方法の実現が望まれていた。

【0010】本発明はこのような問題を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、グレーチングの反射中心周波数の温度係数と縦モードの温度係数を一致させることにより、温度変化に起因するモードホッピングが抑圧された周波数安定化レーザを提供することにある。

【0011】

問題を解決するための手段】上述した目的を達成するために、本発明による周波数安定化レーザは、基板上に搭載された半導体レーザダイオードと、前記基板上に作製された光導波路と、該光導波路に形成された光誘起グレーチングからなる共振型外部共振器を用いた周波数安定化レーザにおいて、前記半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料が、前記半導体レーザダイオードと前記光誘起グレーチングの間の光導波路の上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に搭載されていることを特徴とする。

【0012】ここで、好ましくは前記光導波路が石英系ガラスで構成される。前記上部クラッドとコアを除去した部分が導波路を好ましくは80〜90度、さらに好ましくは80〜87度の角度で傾斜している。

【0013】さらに、好ましくは、前記上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部ク

4

(1)

ラッドを除去した部分が導波路の本體から構成される。前記導波路の本體を導通する導波を有し、前記導通路の端に波長が連結されていることも好ましいことである。

【0014】好ましくは、前記半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料の屈折率温度係数の絶対値が $1 \times 10^{-4}$  (1/K)以上である。

【0015】【発明の実施の形態】本発明による周波数安定化レーザは、基板上に搭載された半導体レーザダイオードと、同じ基板上に作製された光導波路と、光導波路に形成された光誘起グレーチングを備え、半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料が、半導体レーザダイオードと光誘起グレーチングの間の光導波路の上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に搭載されている。

【0016】本発明の上述した構成によつてモードホッピングを抑制できる。すなわち、屈折率温度係数が半導体LDの屈折率温度係数と逆の材料をグレーチングと半導体LDの間に搭載することで、周波数安定化レーザのレーザビームビーム中において温度変化による半導体LDの光路長変化を打ち消すことができ、その結果レーザビームの共振周波数の温度係数を小さくすることができる。従つて、屈折率温度係数が半導体LDの屈折率温度係数と逆の材料を搭載する傾斜の大きさを適切に設計することにより、縦モードの温度係数をグレーチングの反射中心周波数の温度係数に一致させることができる。

【0017】以後、屈折率温度係数が半導体LDの屈折率温度係数と逆の材料を温度係数調整材料と記載する。

【0018】【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0019】なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を示すものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0020】(実施例1) 実施例1は、光導波路が石英系ガラスで構成された周波数安定化レーザを例に挙げて説明する。

【0021】図1、図2に本発明の第1の実施例を示す。図1は、レーザの断面図であり、図2は、レーザの上面図である。11は半導体LD、12は石英導波路と直角方向に設けた溝中に搭載した温度係数調整材料、13は石英導波路のコア、14は石英導波路のクラッド、15はグレーチング、16はSi基板、18はシリコンガラスである。

50

なつて周波数安定化レーザのおおよその光の周波数は式(2)で表される。

$$\nu = 193 \text{ (THz)}$$

図1、図2に示した周波数安定化レーザの縦モードの温度係数 $m$ は近似的に式(3)で表される。

$$m = \frac{m_{\text{so}} n_{\text{so}} L_{\text{so}} L_{\text{so}} + m_{\text{wo}} n_{\text{wo}} L_{\text{wo}} + m_{\text{m}} n_{\text{m}} L_{\text{m}}}{n_{\text{so}} L_{\text{so}} + n_{\text{wo}} L_{\text{wo}} + n_{\text{m}} L_{\text{m}}} \quad (3)$$

【0025】ただし、 $m_{\text{so}}$ 、 $m_{\text{wo}}$ 、 $m_{\text{m}}$ は、それぞれ半導体LDの共振器の共振周波数の温度係数、石英導波路部分と共振器とした場合の共振周波数の温度係数、温度係数調整材料の共振周波数の温度係数である。 $n_{\text{so}}$ 、 $n_{\text{wo}}$ 、 $n_{\text{m}}$ は、それぞれ半導体LDの導波路の等価屈折率、半導体LDとグレーチングの間の石英導波路の等価屈折率、温度係数調整材料の屈折率である。 $L_{\text{so}}$ 、 $L_{\text{wo}}$ 、 $L_{\text{m}}$ は、それぞれ半導体LDの共振器長、温度係数調整材料が搭載された部分の長さ、半導体LDの出射端からグレーチング中心までの石英導波路部分の長さ(温度係数調整材料が封入された領域を除く)を表す。

モードホッピングの温度間隔 $T$ は、縦モードの周波数間隔を縦モードの温度係数 $m$ とグレーチングの温度係数 $m_{\text{g}}$ とから石英導波路の温度係数 $m_{\text{wo}}$ の差で割ることにより式(4)で得られる。

$$T = \frac{1}{2} \frac{C}{(n_{\text{so}} L_{\text{so}} + n_{\text{wo}} L_{\text{wo}} + n_{\text{m}} L_{\text{m}})} \times \frac{1}{m_{\text{wo}} - m} \quad (4)$$

【0027】ただし、 $c$ は光の速さを表し、 $c = 3.0 \times 10^8$  (m/s)である。

【0028】本実施例1において、温度係数調整材料が封入された領域を除く石英導波路部分の共振周波数の温度係数 $m_{\text{wo}}$ の具体的な数値を得るための計算を記す。ここで、グレーチングが形成されている領域も形成される

$$\frac{dy}{dT} = -\nu \left\{ \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} + \alpha \right\} \quad (5)$$

【0031】屈折率の温度係数は、材料は石英であるので式(6)で表される。

$$\frac{dn}{dT} = 7.0 \times 10^{-6} \text{ (1/K)} \quad (6)$$

【0033】石英導波路部分の熱膨張係数を求める。図1のレーザでは、コア13、クラッド14の石英部分の厚みが合わせて60 $\mu\text{m}$ 程度であるのに対して、Si基板16の厚みは1mm程度と十分大きい。従つて、石英\* $\alpha = \alpha_{\text{Si}} = 2.33 \times 10^{-6}$  (1/K) ※ろ。

従つて、半導体LD端からグレーチングまでの石英導波路部分の温度係数 $m_{\text{wo}}$ は、石英導波路の等価屈折率 $n_{\text{wo}}$ は、 $n_{\text{wo}} = 1.45$ とおひ、式(2)、式(6)、式(7)を式(5)へ代入することで、式(8)で得られ※

$$m_{\text{wo}} = \frac{dy}{dT} = -1.4 \text{ (GHz/K)} \quad (8)$$

【0036】同様の計算手順で温度調整材料の温度係数を求める。

【0037】温度係数調整材料には、シリコン樹脂を用いている。シリコン樹脂の屈折率 $n_{\text{m}}$ は1.39、★

【0038】同様の計算手順で温度調整材料の温度係数を求める。

【0039】温度係数調整材料には、シリコン樹脂を用いている。シリコン樹脂の屈折率 $n_{\text{m}}$ は1.39、★

$$\frac{dn}{dT} = -3.9 \times 10^{-6} \text{ (1/K)} \quad (9)$$



キンド等のポリオキソドやポリチアルソシアート、ポリフッ化ニリデンが挙げられる。さらには、エポキシ樹脂等の低分子、オリゴ物と硬化剤による架橋物がある。英例にはこれらの材料を出須または屈折率温度係数を合わせるため2種以上を混合し、使用する。なお、上記の材料を温度係数調整材料として用いる場合、温度係数調整材料の屈折率および屈折率温度係数の値を用いて、実施例1に記載した方法で材料を搭載する部分の長さ $L_m$ を設計する。

【0056】本発明の実施例2、実施例3および実施例4において導と導波路のなす角度を82度とすることで反射戻り光を低減したが、その角度が80度〜87度の間であれば効果は同じである。

【0057】実施例1および実施例2においては300 $\mu$ mの溝を1本作製し、実施例3においては合計の長さが300 $\mu$ mの溝を作製するために幅25 $\mu$ mの溝を12本作製し、実施例4においては幅15 $\mu$ mの溝を20本作製したが、溝の間隔と本数の設計はこれに限定されることはなく、幅15〜50 $\mu$ mの溝を複数本作製し、合計の長さが作製箇所も含めて300 $\mu$ m $\pm$ 50 $\mu$ mとなるようにすれば、実施例1、実施例2、実施例3および実施例4の結果と同様にモードホップ抑制の効果が得られる。

【0058】実施例1から実施例4までにおいては単体の周波数安定化レーザを説明したが、本発明の効果は単体の周波数安定化レーザに限定されることはない。周波数安定化レーザを同一基板上に複数個集積した構成のレーザにも本発明の構成は効果がある。以下に詳しく具体例を記載する。

【0059】(1) 周波数安定化レーザを複数個集積することで作製したレーザアレイにおいても本発明の構成は有効である。図11は本発明の周波数安定化レーザを8個集積したレーザアレイの模式的上面図である。この例では、分割された複数の溝が、各周波数安定化レーザの導波路を横切る角度を82度としている。このような構造は、実施例4と同様に、フォトソングラフと反応性オゾンエッチングによって作製できる。レーザアレイの出力数は8に限定されるものでなく複数であればよい。

【0060】(2) また、上述の複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ構成において、グレーティング15の各々の反折中心周波数（または波長）を制御し、プレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカララを集積した多波長レーザ（波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ ）に對しても、本発明は有効である。図12は本発明の周波数安定化レーザを集積した多波長レーザの模式的上面図である。20は、プレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカララを示す。この例では、連結用の溝および周波数安定化レーザの導波路を横切る角度を82度とし

ている。ここで、多波長レーザの波長多重数として8の場合を例示しているが、これに限定されるものでなく、複数であればよい。なお、周波数を決定すると同時に波長が決定されるので、周波数および波長の安定化なし制御は同じ意味で用いることができる。要するに、周波数安定化レーザと波長安定化レーザとは同義で用いることができる。

【0061】(3) また、上記プレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカララを集積した多波長レーザの構成において、特願平9-47460号に提案されているような、反射中心波長が異なるグレーティングを格して作製するために、グレーティングが形成されている部分の導波路のコア幅が導波路ごとに異なり、またはグレーティングが形成されている部分の導波路の光軸とグレーティングベクトルがなす角が導波路ごとに異なることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0062】(4) さらに、上記複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ、またはプレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカララを集積した多波長レーザの構成において、合波した出力光を増強するために半導体光増幅器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0063】(5) また、上記複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ、またはプレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカララを集積した多波長レーザ、またはさらに半導体光増幅器が集積されている構成において、各波長出力を高速度に変調するため半導体LEDにEA変調器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0064】(6) また、上記複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ、またはプレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカララを集積した多波長レーザ、またはさらに半導体光増幅器が集積されている構成において、各波長出力を高速度に変調するためLEDにEA変調器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0065】実施例1から実施例4では、基板上に搭載する半導体LEDを発振波長1.55 $\mu$ mの半導体LEDとしたが、一般的には他の発振波長の半導体LEDを用いての全長を適切に設計することでモードホップの抑制が可能であることは言うまでもない。

【0066】半導体LEDを搭載したデバイスを実現するにあたり、LEDを樹脂で封止することにより、半導体LEDを湿気にさらさないようにすることで、長期的信頼性を確保することが一般的に行われている。実施例1から実施例4で述べた温度係数調整材料が樹脂封止材料を兼ねる材料である場合、温度係数調整材料を搭載するための溝から半導体LEDまでを覆う全領域にこの温度係数

調整材料を一括して搭載することにより、モードホップの抑制と半導体LEDの信頼性確保が同時に可能になることは言うまでもない。ただし、この場合、温度係数調整材料は半導体LEDと石英導波路の間の僅かな隙間にも搭載されるので、半導体LEDの前端面の反射防止膜は温度係数調整材料の屈折率に対して設計されていることが必要である。このような構成において、温度係数調整材料の屈折率が石英導波路の屈折率 $n=1.45$ に等しい場合、石英導波路の半導体LEDの端面と温度係数調整材料との間で光の反射が生じない。従って、石英導波路の半導体LEDの端面はコアの近傍部がコアの光軸に對して直交してよい。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、溝、すなわち上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に温度係数調整材料を封入するという簡便な方法を用いることにより、従来モードの温度係数とグレーティングの反折中心波長の温度係数を一致させ、従来問題となっていたモードホップを容易に抑制することができ、従って本発明を用いれば低コストで、温度依存性が小さく安定した単一モードレーザの実現が可能となり、光通信等レーザを用いる分野において多大な効果が期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図2】本発明の第1実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図3】第1実施例の波長安定化レーザの作製工程を説明する模式図である。

【図4】本発明の第1実施例における発振周波数の温度依存性の測定結果を示す図である。

【図5】本発明の第2実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図6】本発明の第2実施例における発振周波数の温度

依存性の測定結果を示す図である。

【図7】本発明の第3実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図8】本発明の第3実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図9】本発明の第4実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図10】本発明の第4実施例の周波数安定化レーザの作製工程を示す模式図である。

【図11】本発明の実施例を集積して作製したレーザアレイを示す模式的上面図である。

【図12】本発明の実施例を集積して作製した多波長レーザを示す模式的上面図である。

【図13】従来のグレーティングを用いた周波数安定化レーザの模式的斜視図である。

【図14】従来のグレーティングを用いた周波数安定化レーザにおいて温度変化によるモードホップを説明する図である。

【符号の説明】

11 半導体LED

12 温度係数調整材料（シリコン樹脂）

13 石英導波路のコア層

14 石英導波路のクラッド層

15 グレーティング

16 シ基板

18 シリコンガラス

19 半導体レーザ搭載用の半田パター

20 プレー格子型1×N波長合分波器あるいは1×Nカララ

21 溝

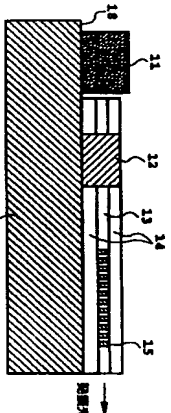
30 フレイズマス

31 エキシマレーザ光あるいはアルゴンレーザの第2高調波

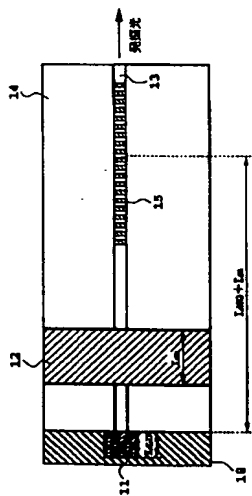
41 連結用溝

42 波だめ

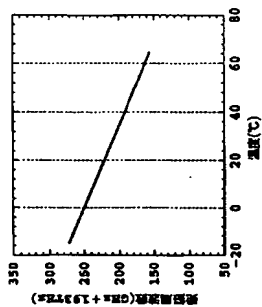
【図1】



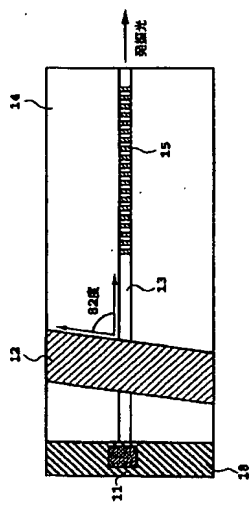
【図2】



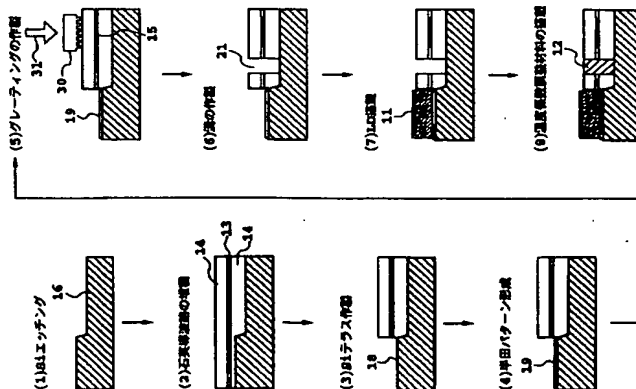
【図6】



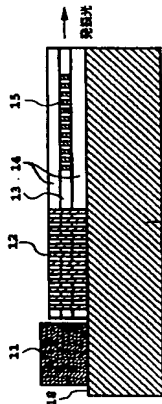
【図5】



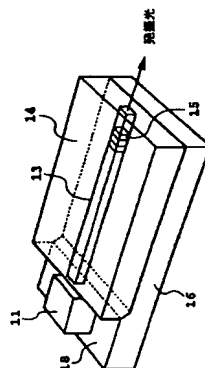
【図3】



【図7】



【図13】



【図14】

